

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-074621
(43)Date of publication of application : 16.03.1999

(51)Int.Cl. H01S 3/18
H01L 33/00

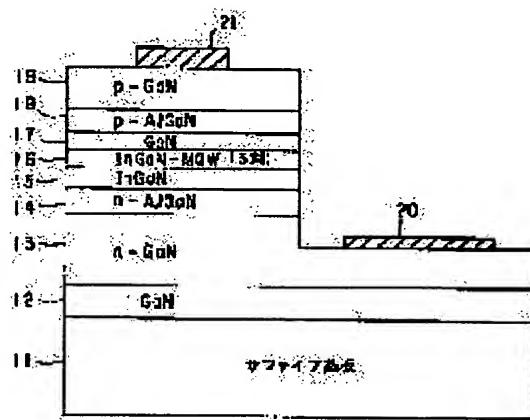
(21)Application number : 09-234881 (71)Applicant : TOSHIBA CORP
(22)Date of filing : 29.08.1997 (72)Inventor : SUGIURA RISA
ISHIKAWA MASAYUKI

(54) NITRIDE GROUP SEMICONDUCTOR LUMINOUS ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve total element characteristics while a threshold value current is reduced and cracking is suppressed.

SOLUTION: Relating to a nitride based semiconductor laser comprising separate confinement hetero structure wherein an MQW (multiplex quantum well structure) active layer 16 of InGaN based semiconductor is sandwiched between a pair of GaN light confinement layers 15 and 17 whose band gap is larger than the active layer 16, which is further sandwiched between a pair of, p-type and n-type, clad layers 14 and 18 of AlGaN whose band gap is larger than the light confinement layers 15 and 17, further comprising GaN contact layers 13 and 19, p-type and n-type, outside of them, such a light confinement layer 15 as on n-side, out of the pair of light confinement layers 15 and 17, is formed of InGaN whose reflectance factor is larger than the GaN contact layers 13 and 19, for improved light confinement effect and also for preventing occurrence of crack at the active layer 16.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 06.09.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 30.04.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

特開平 11-74621

(43) 公開日 平成 11 年 (1999) 3 月 16 日

(51) Int. Cl. ⁶	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H01S 3/18			H01S 3/18	
H01L 33/00			H01L 33/00	C

審査請求 未請求 請求項の数 4 O.L. (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平 9-234881

(22) 出願日 平成 9 年 (1997) 8 月 29 日

(71) 出願人 000003078
株式会社東芝
神奈川県川崎市幸区堀川町 72 番地

(72) 発明者 杉浦 理砂
神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 石川 正行
神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株式会社東芝研究開発センター内

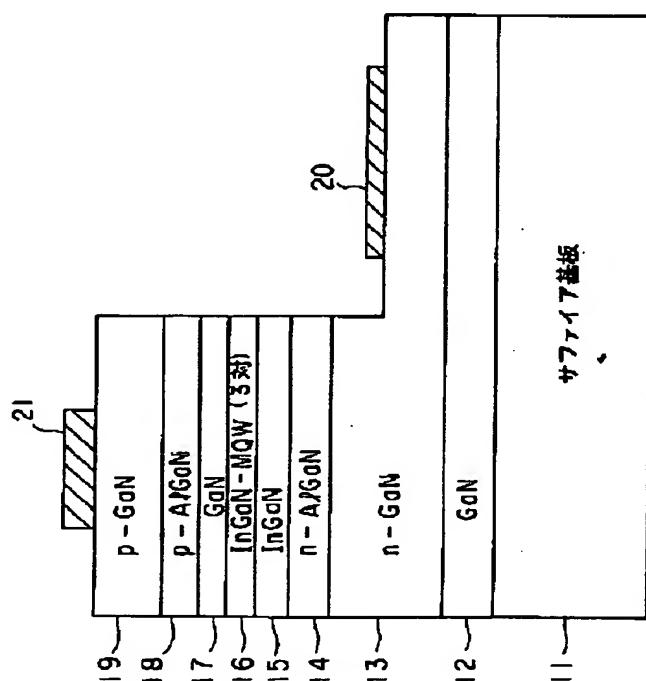
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外 6 名)

(54) 【発明の名称】窒化物系半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 しきい値電流低減とクラックの抑制とを同時に達成することができ、トータルの素子特性向上をはかる。

【解決手段】 InGaN 系半導体からなる MQW 活性層 16 を活性層 16 よりもバンドギャップの大きい一対の GaN 光閉じ込め層 15, 17 で挟み、その外側を光閉じ込め層 15, 17 よりもバンドギャップの大きい AlGaN からなる p 型及び n 型の一対のクラッド層 14, 18 で挟んだ分離閉じ込めヘテロ構造を有し、かつその外側に p 型及び n 型の GaN コンタクト層 13, 19 を有する窒化物系半導体レーザであって、一対の光閉じ込め層 15, 17 のうち、n 側の光閉じ込め層 15 を GaN コンタクト層 13, 19 よりも屈折率の大きい InGaN で形成し、光閉じ込め効果の増大と共に、活性層 16 におけるクラックの発生を防止する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】基板上に複数の窒化物系半導体層を積層してなり、活性層を一対の光閉じ込め層で挟み、その外側をp型及びn型の一対のクラッド層で挟んだ分離閉じ込めヘテロ構造を有し、かつその外側にp型及びn型のコンタクト層を有する窒化物系半導体発光素子であって、前記一対の光閉じ込め層のうち、p側の光閉じ込め層の屈折率は前記コンタクト層のそれと同じ又はそれよりも大きく、n側の光閉じ込め層の屈折率はp側の光閉じ込め層のそれよりも大きいことを特徴とする窒化物系半導体発光素子。

【請求項2】窒化物系半導体からなる活性層を該活性層よりもバンドギャップの大きい窒化物系半導体からなる一対の光閉じ込め層で挟み、その外側を光閉じ込め層よりもバンドギャップの大きいAlを含む窒化物系半導体からなるp型及びn型の一対のクラッド層で挟んだ分離閉じ込めヘテロ構造を有し、かつその外側にクラッド層よりもバンドギャップの小さい窒化物系半導体からなるp型及びn型のコンタクト層を有する窒化物系半導体発光素子であって、

前記一対の光閉じ込め層のうち、n側の光閉じ込め層は前記コンタクト層よりも屈折率が大きく、p側の光閉じ込め層はn側の光閉じ込め層よりも屈折率が小さく、かつ前記コンタクト層と同じ又はそれよりも屈折率が大きいことを特徴とする窒化物系半導体発光素子。

【請求項3】前記各クラッド層はAl, Ga_{1-x}N (0 < x < 1) で形成され、前記各コンタクト層はGaNで形成され、前記n側の光閉じ込め層はIn, Ga_{1-x}N (0 < x < 1) で形成され、前記p側の光閉じ込め層はIn, Ga_{1-x}N (0 < y < x) で形成されていることを特徴とする請求項1又は2記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項4】基板上に複数の窒化物系半導体層を積層してなり、活性層を該活性層よりもバンドギャップの大きい一対の光閉じ込め層で挟み、さらにその外側を光閉じ込め層よりもバンドギャップの大きいp型及びn型の一対のクラッド層で挟んだ分離閉じ込めヘテロ構造を有する窒化物系半導体発光素子であって、

前記活性層が第1の活性層と第2の活性層に分離されており、第1の活性層と第2の活性層の間に、前記光閉じ込め層よりもバンドギャップが小さく、第1及び第2の活性層よりもバンドギャップが大きいクラック防止層を設けてなることを特徴とする窒化物系半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光情報処理、光通信、光計測などの技術分野で用いられる窒化物系半導体発光素子に係わり、特に分離閉じ込めヘテロ構造 (SCH : separate confinement heterostructure) を有する窒化物系半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、短波長発光素子の需要が高まり、ZnSe系及びGaN系材料を用いた短波長発光素子の研究開発が活発に行われている。ZnSe系材料では、発振波長500nm前後の短波長半導体レーザの室温連続発振が達成されているが、結晶欠陥の増殖に起因する素子劣化が問題となり、素子の長寿命化が達成できず、実用化には至っていない。

【0003】一方、GaN系材料では近年、青色発光ダイオード (LED) が実用化され、現在GaN系青色半導体レーザの研究開発が精力的に行われている。また最近、GaN系半導体レーザにおいても室温連続発振が達成されたが、この材料系においては、いまだ物性に関して未知な部分が多く、実用化に際して解決すべき問題も多い。その主なものとして、しきい値電流が高いこと、またクラック (割れ) が発生する問題がある。この材料系では、従来実用化が可能となつた材料系と同様の素子構造では、解決できない問題も多いと思われる。

【0004】GaN系青色半導体レーザでは、従来、p型及びn型伝導を有するAlGaNクラッド層の間に、多重量子井戸構造 (MQW) を有するInGaN系活性層を有するSCH構造が多く用いられおり、しきい値電流を低減するためにはMQWの井戸層と障壁層のペア数を低減する必要がある。しかし、現実にはMQWのペア数を低減すると、成長層にクラックが発生する問題が生じる。従って、しきい値を低減することと、クラックの発生を抑制することがトレードオフの関係にあり、トータルの素子特性を向上させることは困難である。

【0005】また、従来の素子構造では光の閉じ込めが不十分であることも、しきい値が高い要因であった。光の閉じ込めを十分にするためには、AlGaNクラッド層の高Al組成化、膜厚の増加が効果的であるが、これによりクラックの発生が顕著になる問題が生じる。従って、光の閉じ込めを十分にし、しきい値を低減するためには、クラッド層の高Al組成化や膜厚増加以外の方法が必要となる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】このように従来、GaN系半導体レーザの実用化には、しきい値電流の低減と共に、クラック (割れ) の発生を抑制することが必須であるが、これらはトレードオフの関係にあり、トータルの素子特性を向上させることは困難であった。

【0007】本発明は、上記の事情を考慮して成されたもので、その目的とするところは、しきい値電流低減とクラックの抑制とを同時に達成することができ、トータルの素子特性向上をはかり得る窒化物系半導体発光素子を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】

【構成】上記課題を解決するために本発明は、次のよう

な構成を採用している。即ち本発明は、基板上に複数の窒化物系半導体層を積層してなり、活性層を一対の光閉じ込め層で挟み、その外側をp型及びn型の一対のクラッド層で挟んだ分離閉じ込めヘテロ構造を有し、かつその外側にp型及びn型のコンタクト層を有する窒化物系半導体発光素子であって、前記一対の光閉じ込め層のうち、p側の光閉じ込め層の屈折率は前記コンタクト層のそれと同じ又はそれよりも大きく、n側の光閉じ込め層の屈折率はp側の光閉じ込め層のそれよりも大きいことを特徴とする。

【0009】また本発明は、窒化物系半導体からなる活性層を該活性層よりもバンドギャップの大きい窒化物系半導体からなる一対の光閉じ込め層で挟み、その外側を光閉じ込め層よりもバンドギャップの大きいAlを含む窒化物系半導体からなるp型及びn型の一対のクラッド層で挟んだ分離閉じ込めヘテロ構造を有し、かつその外側にクラッド層よりもバンドギャップの小さい窒化物系半導体からなるp型及びn型のコンタクト層を有する窒化物系半導体発光素子であって、前記一対の光閉じ込め層のうち、n側の光閉じ込め層は前記コンタクト層よりも屈折率が大きく、p側の光閉じ込め層はn側の光閉じ込め層よりも屈折率が小さく、かつ前記コンタクト層と同じ又はそれよりも屈折率が大きいことを特徴とする。

【0010】ここで、本発明の望ましい実施態様としては次のものがあげられる。

(1) 各クラッド層はAl, Ga_{1-x}N (0 < x ≤ 1) で形成され、各コンタクト層はGaNで形成され、n側の光閉じ込め層はIn_{1-x}Ga_xN (0 < x ≤ 1) で形成され、p側の光閉じ込め層はIn_{1-x}Ga_xN (0 ≤ x < x) で形成されていること。

【0011】(2) 活性層は、InGaN系多重量子井戸構造であること。

(3) p側の光閉じ込め層の膜厚を、n側の光閉じ込め層の膜厚よりも厚くしたこと。

【0012】また本発明は、基板上に複数の窒化物系半導体層を積層してなり、活性層を該活性層よりもバンドギャップの大きい一対の光閉じ込め層で挟み、さらにその外側を光閉じ込め層よりもバンドギャップの大きいp型及びn型の一対のクラッド層で挟んだ分離閉じ込めヘテロ構造を有する窒化物系半導体発光素子であって、前記活性層が第1の活性層と第2の活性層に分離されており、第1の活性層と第2の活性層の間に、前記光閉じ込め層よりもバンドギャップが小さく、第1及び第2の活性層よりもバンドギャップが大きいクラック防止層を設けてなることを特徴とする。ここで、活性層は井戸層と障壁層からなる量子井戸構造を有し、クラック防止層のバンドギャップは活性層の井戸層よりも大きく障壁層よりも小さいのが望ましい。

【0013】(作用) SCH構造を有する窒化物系半導体発光素子においては、しきい値電流を低減するため

に、InGaN系MQW活性層の井戸層及び障壁層のペア数を低減することが必須である。また、光の閉じ込めが不十分であるため、しきい値電流を低減できない問題を解決するために、AlGaNクラッド層の膜厚又はAl組成を増加させることができが効果的である。しかし、MQWペア数の低減やAlGaNクラッド層の膜厚又はAl組成の増加に伴い、クラックの発生が顕著になる。従来は、SCH構造の下部にクラックを防止するための層を挿入している例があり、この方法でもクラック防止の効果は多少あるが、その効果は完全ではなく、実用化には耐え得ないものである。また、この方法では光の閉じ込めが不十分でしきい値を低減できない問題を解決することはできない。

【0014】そこで本発明では、MQWペア数の低減、光閉じ込め効果の増大をクラックの発生を抑制しながら実現し、実用に十分絶え得る低しきい値の短波長半導体発光素子を提供する。即ち本発明では、光閉じ込め層、特にn側の光閉じ込め層にInGaNを用いることで、MQWペア数を低減しても、クラックの発生を抑制でき、光の閉じ込め効果が大幅に増加する。また、これにより低しきい値半導体発光素子を実現できる。

【0015】n側、p側のいずれの光閉じ込め層にInGaNを用いても、クラック防止効果、光閉じ込め効果は得られるが、実際には総合的に素子特性を向上させるための素子構造の設計が必要である。即ち、構造上の制約や物性上の制約などを考慮した素子構造の設計が必要である。図3に示した従来の構造を主体にした場合、

(1) p側への電子のオーバーフローが顕著であるため、これを抑制できる構造が望ましい。(2) InGaN系活性層成長後の再昇温過程で活性層の再蒸発を防止できる構造にする必要がある。また、物性を考慮した場合、(3) p型伝導で高いキャリア濃度を有するInGaNを得ることは現状の技術では難しい。(4) InGaNをp側光閉じ込め層に用いるよりも、n側光閉じ込め層に用いた場合の方がクラック防止効果が大きい。

【0016】以上の構造上の制約及び物性上の制約から、n側光閉じ込め層にInGaNを用いることが効果的である。また、このn側InGaN光閉じ込め層のIn組成は井戸層のIn組成よりも低くなくてはならない。一例として、井戸層のIn組成が20%の場合、n側InGaN光閉じ込め層のIn組成は5~8%程度が望ましい。一方、p側光閉じ込め層には、従来通りp型GaNを用いても大きな効果は得られるが、より光の閉じ込め効果及びクラック防止効果を増すため、p側光閉じ込め層にもInGaNを用いても良い。但し、前記した(1)(2)(3)の理由により、n側InGaN光閉じ込め層のIn組成よりも低くする必要がある。上述の例の場合、In組成は2~3%程度が望ましい。また、(1)のp側への電子のオーバーフローの問題や光強度分布の非対称性を考慮し、例えばp側には光閉じ込め層を設けな

くても良い。

【0017】一方、n側とp側の光閉じ込め層のIn組成(屈折率)が異なるため、活性層内における光の閉じ込めが非対称となり、光の強度分布の中心が活性層の中心からずれる。この光強度分布は、n側とp側の光閉じ込め層の膜厚を変化させることにより制御できる。例えば、n側光閉じ込め層にInGaNを、p側光閉じ込め層にGaNを用いた場合、両者の膜厚が同じであれば、光の強度分布の中心はn側にずれる。しかし、p側光閉じ込め層の膜厚をn側光閉じ込め層よりも大きくすることで、このずれを中心位置に戻すことができる。

【0018】また、クラック防止層をn及びp側の光閉じ込め層の中心部に設けることも可能であり、その場合、クラック防止層の上部と下部、つまりn側とp側に活性層を有する構造となる。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、本発明の詳細を図示の実施形態によって説明する。

(実施形態1) 図1に本発明の第1の実施形態に係わる窒化物系半導体レーザの素子構造断面を示し、図2に図1の素子構造におけるSCH構造のバンド図を示す。また、参考のため、従来のSCH構造を有する窒化物系半導体レーザの概略構造図を図3に示し、その素子構造におけるバンド図を図4に示す。

【0020】まず、本実施形態によるSCH構造を有する窒化物系半導体レーザについて、図1を用いて説明する。本実施形態レーザは、サファイア基板11上に、バッファ層(図示せず)を介して、アンドープGaN下地層12、n型GaNコンタクト層13、厚さ0.33μmのn型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層14が順次形成されている。活性層の光を十分に閉じ込め、低しきい値の半導体レーザを作成するためには、AlGaNクラッド層14のAl組成を十分に高くするか、又は膜厚を十分にする必要がある。しかし、AlGaNクラッド層14のAl組成を高くする、又は膜厚を厚くすることにより、レーザ用多層膜にクラック(割れ)が発生する問題が生じる。このクラックは、Al組成が高いほど、また膜厚が厚いほど顕著になる。

【0021】本実施形態では、この問題を解決するため、n型AlGaNクラッド層14の上に、n側光閉じ込めとクラック防止の両方の効果を兼ね備えた、厚さ0.2μmのIn_{0.1}Ga_{0.9}Nから成るクラック防止兼光閉じ込め層15を形成している。クラック防止兼光閉じ込め層15の上部には、厚さ2nmのIn_{0.1}Ga_{0.9}N井戸層と厚さ4nmのIn_{0.1}Ga_{0.9}N障壁層の3対から成る多重量子井戸構造(MQW)を有するInGaN系活性層16が形成され、その上部には、厚さ0.25μmのp側GaN光閉じ込め層17、p型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層18、p型GaNコンタクト層19が上記の順に形成されている。

【0022】また、上記多層構造の一部はn型GaNコンタクト層13までドライエッティング法により除去され、露出したコンタクト層13上にTi/AIから成るn側電極20が形成されている。そして、p型GaNコンタクト層19上にはp側電極21が形成されている。

【0023】次に、本実施形態レーザの製造方法について説明する。このレーザは、周知の有機金属気相成長(MOCVD)法により作成した。有機金属原料として、トリメチルガリウム(TMGA)、トリメチルアルミニウム(TMA)、トリメチルインジウム(TMI)、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp₂Mg)を用いた。また、ガス原料として、アンモニア(NH₃)、シラン(SiH₄)を用いた。さらに、キャリアガスとして水素及び窒素を用いた。

【0024】まず、有機洗浄、酸洗浄によって処理したサファイア基板11をMOCVD装置の反応室内に導入し、高周波によって加熱されるサセプタ上に設置した。次いで、常圧で水素を25L/分の流量で流しながら、温度1200℃で約10分間、気相エッティングを施し表面にできた自然酸化膜を除去した。

【0025】次いで、サファイア基板11上に550℃程度の低温においてバッファ層を成長した後、基板温度を1100℃にし、キャリアガスとして水素20.5L/分を流し、アンモニアを9.5L/分、TMGAを100cc/分で60分間供給することにより、アンドープGaN下地層12(2.0μm)を形成した。続いてSiH₄を10cc加え、連続してn型GaNコンタクト層13(4.0μm)を形成した。続いて、TMAを60cc/分加えることにより、n型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層(0.33μm)を形成した。

【0026】次いで、サファイア基板11を760℃まで降温し、キャリアガスを水素から窒素20.5L/分に切り替え、アンモニアを9.5L/分、TMGAを10cc/分、TMIを150cc/分で約8分間流すことにより、厚さ0.2μmのクラック防止兼光閉じ込め層15を成長した。次いで、TMIの供給量を450cc、500ccと交互に切り替えることにより、厚さ2nmのIn_{0.1}Ga_{0.9}N井戸層、厚さ4nmのIn_{0.1}Ga_{0.9}N障壁層から成る多重量子井戸構造(MQW)を有するInGaN系活性層16を形成した。

【0027】次いで、サファイア基板11を1080℃に昇温し、窒素キャリアガス20.5L/分、アンモニア9.5L/分、TMGA100cc/分、及びp型ドーパント原料としてCp₂Mgを50ccを加えることにより、厚さ0.25μmのp側光閉じ込め層17を3分間成長し、その後TMA60cc/分を供給し、Cp₂Mgを100ccに増加することにより、p型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層18(0.33μm)を形成する。続いて、TMAの供給を停止し、Cp₂Mgの供給量は50ccとしてp型GaNコンタクト層19を形成

した。

【0028】p型GaNコンタクト層19を形成した後、有機金属原料の供給を停止し、窒素キャリアガス20.5L/分、及びアンモニア9.5L/分のみを引き続き供給し、基板温度を自然降温した。但し、アンモニアの供給は基板温度が350℃に達した際に停止した。

【0029】以上の方法で作成されたウェハをMOCVD装置から取り出したところ、平坦性に優れ、クラックの無い、良質な窒化物系半導体レーザ用多層膜が得られていることが確認できた。

【0030】次に、上記の方法で作成されたレーザ用多層膜をn側電極を形成するためにドライエッチングによりエッチングを行い、n型コンタクト層13を露出させ、その上部にTi/AIから成るn側電極20を形成した。また、p型GaNコンタクト層19上にはp側電極21を形成した。

【0031】このようにして作成した図1の素子構造におけるSCH構造のバンド図を、図2に示す。この図に示すように、本実施形態によるレーザ用多層膜では、しきい値電流低減のため、MQWのペア数が3対と少なく、またこのMQWペア数低減により問題となるクラック発生の問題を解決するため、MQW活性層16の下部に、MQW活性層16中の井戸層と障壁層の間のバンドギャップを有するInGaNクラック防止兼光閉じ込め層15が設けられている。

【0032】このn側のクラック防止兼光閉じ込め層15は、MQW活性層16の上部(p側)の光閉じ込め層17よりも屈折率が大きい(In組成が小さい)ため、光の閉じ込め効果も大きい。但し、n側のクラック防止兼光閉じ込め層15がp側の光閉じ込め層17と同じ膜厚であると、活性層15に対して光の閉じ込めがn側に偏ることになる。そこで、n側のクラック防止兼光閉じ込め層15の膜厚をp側の光閉じ込め層17よりも薄くすることにより、これを防止している。

【0033】このように本実施形態では、クラック防止兼光閉じ込め層15を設けることにより、クラックを抑制し、光の閉じ込め効果が大きく、かつMQWのペア数の低減を可能にしたレーザ素子を実現することができ、しきい値電流密度が大幅に低減できる。

【0034】次に、n側電極20及びp側電極21を形成した上記半導体素子のI-V特性を測定したところ、良好なオーミック接触が得られた。次に、上述の電極を有する半導体多層膜を形成したウェハを350μm×500μmの大きさに劈開することにより共振器ミラーを形成し、半導体レーザを作成した。この半導体レーザに電流注入したところ、波長417nmで室温連続発振した。素子の動作電圧は5.0V、しきい電流密度は1.2kA/cm²であった。また、素子寿命は従来の100倍以上に及び、素子の信頼性が大幅に向上した。

【0035】一方、本発明による効果を検証するため、

図3に示す従来のSCH構造を有するレーザ素子も作成し、素子特性を調べ、本実施形態による素子と比較した。図3に示す従来型のSCH構造を有するレーザ素子において、SCH構造部以外の素子部、またその成長方法、及び素子の作成方法は、図1に示す実施形態によるレーザ素子と同様である。

【0036】図3における31～41は図1の11～21に対応している。基本的な構成は図1と同様であるが、この参考例では、光閉じ込め層35、37が共にGaNで形成されている。また、MQW活性層36における井戸層と障壁層のペア数は、3対のものと10対のものの2種類を作成した。

【0037】サファイア基板31上にGaN下地層32からp型GaNコンタクト層39までのレーザ用多層膜をMOCVD装置を用いて作成した後、反応炉から取り出したところ、3対のMQW構造を有するレーザ用多層膜の成長層表面にはクラックが非常に多く発生した。一方、10対のMQW構造を有するレーザ用多層膜の成長層表面ではウェハの一部にクラックが発生したが、3対の場合に比べると、その密度は小さいことが明らかである。

【0038】次に、上記の2つの試料について、多層構造の一部をn型GaNコンタクト層33までドライエッチング法により除去し、その上部にTi/AIから成るn側電極40を形成した。また、p型GaNコンタクト層39上にはp側電極41を形成した。

【0039】このようにして作成した従来型のGaN系青色半導体レーザにおけるSCH構造のバンド図を、図4に示す。上記半導体素子のI-V特性を測定したところ、良好なオーミック接触が得られた。

【0040】次に、上述の電極を有する半導体多層膜を形成したウェハを350μm×500μmの大きさに劈開することにより共振器ミラーを形成し、半導体レーザを作成した。これらの半導体レーザに電流注入したところ、以下の結果を得た。10対のMQW活性層を有する素子は、波長417nmで室温連続発振し、発振時の動作電圧は約5Vであった。しかし、しきい電流密度は1.5kA/cm²と高く、素子寿命30分弱と短い。また、ウェハ面内における素子特性のばらつきは小さい。

【0041】一方、3対のMQW活性層を有する素子では、クラックが多く発生し、素子作成プロセス中に1素子内にもクラックによる切断部が多く存在するため、通電不可能な素子も多く存在し、歩留まりが非常に低い。但し、ウェハ面内の約10%の素子では、波長417nmで室温連続発振し、発振時の動作電圧は約5Vであった。しきい電流密度は、10対のMQW活性層を有する素子に比べ低く、7kA/cm²であった。また、発振した素子の寿命は30秒から長いものでは30時間程度であった。

【0042】以上のように、従来のGaN系半導体レー

ザでは、しきい値電流低減のために $InGaN$ 系 MQW 活性層のペア数を低減すると、クラックが多発する問題が生じ、素子の歩留まりや特性が大幅に損なわれる問題があった。また、従来構造では光の閉じ込めが不十分であったため、しきい値の低減が困難であった。これに対し本実施形態では、 $InGaN$ 系 MQW 活性層のペア数の低減が可能になり、かつ n 側光閉じ込め層に従来の GaN よりも屈折率の高い GaN を用いたことにより、光の閉じ込め効果が高まり、しきい値電流を大幅に低減させることができた。またその結果、素子の信頼性、歩留まりが大幅に向上した。

【0043】また、予想以上の効果として、 n 側光閉じ込め層として従来の GaN を用いた場合に比べ、本実施形態による $InGaN$ を用いた場合の方が成長層表面の平坦性が向上した。原子間力顕微鏡 (AFM) により測定した成長層表面の凹凸は、従来構造で約 100 nm、本実施形態による成長層では約 20 nm であった。この平坦性の向上により、電極形成などの素子プロセスにおける歩留まりや信頼性が向上した。また、この成長層表面の平坦性向上は、当然のことながら活性層における MQW 構造の秩序性を向上させ、従来構造における光の散乱等の悪影響を低減し、またキャリアの注入、再結合など電気的な特性に対する悪影響等も除外できる。

【0044】このように本実施形態によれば、 GaN 系短波長レーザにおいて困難であったしきい値電流の低減が可能になる。この材料系のレーザでは、一般的に MQW 構造を有する $InGaN$ 系活性層が用いられているが、しきい値電流低減のため、MQW のペア数を低減すると、クラックが多発し、MQW のペア数低減によるしきい値低減とクラックの発生 (クラック密度) がトレードオフの関係にあった。即ち、クラックの発生を抑制した構造ではしきい値電流が高く、またしきい値電流を低くした構造ではクラックが多発し、素子の歩留まり、信頼性が著しく低下する問題があった。本実施形態は、上記の問題を解決し、クラックの発生を抑止すると同時に、MQW のペア数を低減することができ、その結果、しきい値電流を大幅に低減できる。これにより、素子の歩留まり、初期特性、信頼性が大幅に向上する。

【0045】(実施形態 2) 図 5 は、本発明の第 2 の実施形態に係わる半導体レーザを示す素子構造断面図である。なお、図 1 と同一部分には同一符号を付して、その詳しい説明は省略する。

【0046】本実施形態では、第 1 の実施形態と同様の半導体レーザの素子構造において、MQW 型 $InGaN$ 系活性層 16 の代わりに、単一量子井戸構造 (SQW) 型 $InGaN$ 系活性層 26 を用い、 p 側光閉じ込め層 27 に第 1 の実施形態における GaN の代わりに $InGaN$ を用いたものである。活性層 26 と p 側光閉じ込め層 27 以外は、第 1 の実施形態と同じ構造とした。

【0047】本実施形態では、活性層 26 を SQW とし

ているため、第 1 の実施形態の場合に比べ、よりクラックが生じ易く、光の閉じ込めが厳しい構造である。従って、本実施形態では、 p 側光閉じ込め層 27 にも n 側光閉じ込め層と同様に $InGaN$ を用いることにより、クラック防止効果及び光閉じ込め効果を増加させる必要がある。しかし、(課題を解決するための手段) の項でも説明した理由により、 p 側 $InGaN$ 光閉じ込め層 27 の In 組成は余り高いと素子特性が悪化する。本実施形態では、 p 側光閉じ込め層 27 に厚さ 0.2 μm の $In_{x,y}Ga_{1-x-y}N$ を用いた。

【0048】第 1 の実施形態と同様の成長条件で作成したレーザ用多層膜の表面平坦性は極めて良好で、AFM による測定で凹凸は約 10 nm であることが分った。次に、上記のレーザ用多層膜に第 1 の実施形態と同様のプロセスを施し、 n 側電極 20 及び p 側電極 21 を形成した後に、I-V 特性を測定したところ良好なオーミック接触が得られた。

【0049】次に、上記の電極を形成したウェハを 350 $\mu m \times 500 \mu m$ の大きさにへき開することにより共振器ミラーを形成し、半導体レーザを作成した。この半導体レーザに電流注入したところ、波長 417 nm で室温連続発振した。素子の動作電圧は 4.8 V、しきい電流密度は 1 kA/cm² であった。また、素子寿命も従来の 1000 倍以上に延び、素子の信頼性が大幅に向上した。

【0050】SQW 構造の $InGaN$ 系活性層を用いた場合、従来型の構造ではクラックが多発し、素子の作成が困難であったが、本実施形態で作成したレーザ素子では、 n 側及び p 側に $InGaN$ 光閉じ込め層を設けたことで、クラックの発生を抑制すると同時に、光の閉じ込め効果も増大し、しきい値電流を大幅に低減することが可能となり、素子の歩留まり及び信頼性が顕著に向上した。

【0051】(第 3 の実施形態) 本実施形態では、活性層におけるキャリアのオーバフローを防止するための工夫を加えた素子構造で、かつ MQW の井戸数を低減し、光の閉じ込め効果を高め、クラックの発生を抑制できる窒化物系低しきい値半導体レーザを提供するための例を示す。

【0052】窒化物系半導体レーザでは、活性層における電子のオーバフローが問題となる。電子と正孔の再結合確率をより高めるために、電子のオーバフローを抑制する必要がある。本実施形態では、電子のオーバフローを抑制するため、 $InGaN$ 系 MQW 活性層上に高 Al 組成の $GaAlN$ 層 (Al 組成を 20%、膜厚を 5 nm) を設け、 p 側光閉じ込め層は設けない構造とする。

【0053】図 6 に本実施形態による窒化物系半導体レーザの素子構造断面を示し、以下に層構造を簡単に説明する。成長は MOCVD 法により行った。サファイア基板 81 上に、 GaN バッファ層 82a、アンドープ Ga

N下地層82、n型GaNコンタクト層83、n型GaN...A1...N電流注入層(0.3μm)91、アンドープIn...GaN...N光閉じ込め層(0.3μm)92、アンドープInGaN系MQW活性層(4対)93を順次形成し、その上にキャリアオーバフロー防止層としてGaN...A1...N層(5nm)94を形成する。その上に、p型GaN...A1...N電流注入層(0.4μm)95、p型GaN電流注入層85、n型GaN電流狭窄層86を順次形成する。

【0054】次いで、n型GaN電流狭窄層86を部分的にパターニングし、エッチング等によりp型GaN電流注入層85を最表面に露出させる。その後、p型GaN電流注入層85及びn型GaN電流狭窄層86上には、再びMOCVD法により、p型GaNコンタクト層87を形成する。

【0055】次いで、SiO₂等によるマスキングにより、p型GaNコンタクト層83まで部分的にエッチングし、露出したコンタクト層83上にn側電極96を形成し、さらにp型GaNコンタクト層87上にp側電極97を形成する。

【0056】このようにして作成した半導体レーザは、発振波長410nmにて、910A/cm²の低しきい値で発振した。本実施形態のように、n側光閉じ込め層にInGaNを用いることにより、クラック発生を抑制することができ、同時に光の閉じ込め効果が向上する。また、窒化物系半導体レーザで問題となる電子のp側へのオーバフローは、MQW直上へ高A1組成のGaN...A1...N層を挿入することで抑制でき、このため本実施形態のような構造の場合、必ずしもp側の光閉じ込め層を設ける必要はない。但し、構造上、クラック発生抑制効果又は光閉じ込め効果が不十分な場合には、図6において、InGaN系MQW活性層93上にGaN...A1...Nキャリアオーバフロー防止層(5nm)94を形成し、さらにその上部にp側光閉じ込め層を設け、その上に本実施形態と同様のp型GaN電流注入層95を形成するような構造にしても良い。

【0057】(実施形態4)図7は、本発明の第4の実施形態に係わる半導体レーザを示す素子構造断面図である。

【0058】本実施形態では、サファイア基板51上にバッファ層52を介してn型GaNコンタクト層53を形成し、このコンタクト層53上にn型A1GaNクラッド層(A1組成:0.32)54、GaN光閉じ込め層55、第1の多重量子井戸構造(MQW)のInGaN系活性層56を順次形成する。ここで、活性層56は、In組成20%のInGaN井戸層とGaN障壁層とを組み合わせた2対のMQW構造とした。

【0059】第1のMQW活性層56上に、厚さ40nmのInGaN系クラック防止層(In組成:7%)57を形成した。また、その上部に第1のMQW構造を有

する活性層56と同様の構造を有する第2のMQW構造のInGaN系活性層58を形成した。また、さらにその上部にp型GaN光閉じ込め層59、p型A1GaNクラッド層(A1組成:0.32)60を順次形成し、n型A1GaNクラッド層54からp型A1GaNクラッド層60までの層を図7に示すようにメサストライプ状に形成した。

【0060】メサストライプの側部には、i型GaN層61を埋め込み、p型A1GaNクラッド層60及びi型GaN層61上には、p型GaNコンタクト層62を形成した。つまり、埋め込みメサ構造のダブルヘテロ構造を形成し、さらにその上にp側電極とのコンタクト層を形成した。埋め込みには、高抵抗のGaN層を用いた。

【0061】本実施形態の半導体レーザは、第1の実施形態と同様にMOCVD法により作成した。このようにして作成したレーザ用ウェハにはクラックは存在せず、良好な結晶が得られた。

【0062】上述のように作成したレーザ用多層膜の活性層付近のバンド図を図8に示す。第1の活性層56と第2の活性層58の間に挿入されたクラック防止層57のバンドギャップは、光閉じ込め層55、59のそれよりも小さく、第1及び第2の活性層56、58のそれよりも大きいものとなっている。より具体的には、クラック防止層57のバンドギャップは、活性層56、58を構成するMQWの井戸層のそれよりは大きく、障壁層のそれよりは小さいものとなっている。なお、2つの活性層56、58のうち一方だけをMQW構成とし、他方を通常のアンドープ活性層或いはSQW構成にしてもよい。

【0063】次に、n型GaNコンタクト層53上にTi/Auから成るn側電極63を形成した。p型GaNコンタクト層62上にはp側電極64を形成した。統いて、このレーザ構造を基板側からスクライバなどを用いて壁開し、共振器ミラーを作成した。

【0064】このようにして作成した半導体レーザは波長420nmで連続発振した。この素子の動作電圧は4.2Vで、しきい値電流密度は1kA/cm²であった。また、作成したレーザ用ウェハ内の素子特性のばらつきは殆ど無く、素子寿命も従来素子の10000倍程度まで伸び、信頼性が大幅に向上した。

【0065】なお、本発明は上述した各実施形態に限定されるものではない。半導体層成長のための基板はサファイアに限るものではなく、GaN、SiC、Si等を用いることができる。また、実施形態では、p-n構造におけるn層を活性層に対し基板側に設け、p層を反対側(上部)に設けた構造を例に示したが、基板側にp層を、成長層上部にn層を形成するような構造でも良い。

【0066】また、実施形態では、GaN系半導体レーザの例を説明したが、本発明は半導体レーザに限らず発

光ダイオード (LED) にも適用できる。さらに、GaN系材料に限らず、窒化物系半導体を用いた発光素子に適用することができる。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

【0067】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、SCH構造を有する窒化物系半導体発光素子において、n側の光閉じ込め層をコンタクト層であるGaN等の屈折率よりも大きな屈折率を有するInGaN等で形成することにより、しきい値電流低減とクラックの抑制と同時に達成することができ、トータルの素子特性向上をはかり得る。その結果、素子の歩留まり、初期特性、信頼性が大幅に向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態に係わるSCH構造を有する窒化物系半導体レーザを示す素子構造断面図。

【図2】図1の素子構造におけるSCH構造のバンド図。

【図3】第1の実施形態において比較のために示した従来のSCH構造を有する窒化物系半導体レーザを示す素子構造断面図。

【図4】図5の従来型の窒化物系半導体レーザにおけるSCH構造のバンド図。

【図5】第2の実施形態に係わる半導体レーザを示す素子構造断面図。

【図6】第3の実施形態に係わる半導体レーザを示す素子構造断面図。

【図7】第4の実施形態に係わる半導体レーザを示す素子構造断面図。

【図8】図7の構造における活性層付近のバンド図。

10 【符号の説明】

11 … サファイア基板

12 … アンドープGaN下地層

13 … n型GaNコンタクト層

14 … n型AlGaNクラッド層

15 … n側InGaN光閉じ込め層兼クラック防止層

16 … MQWのInGaN系活性層

17 … p側GaN光閉じ込め層

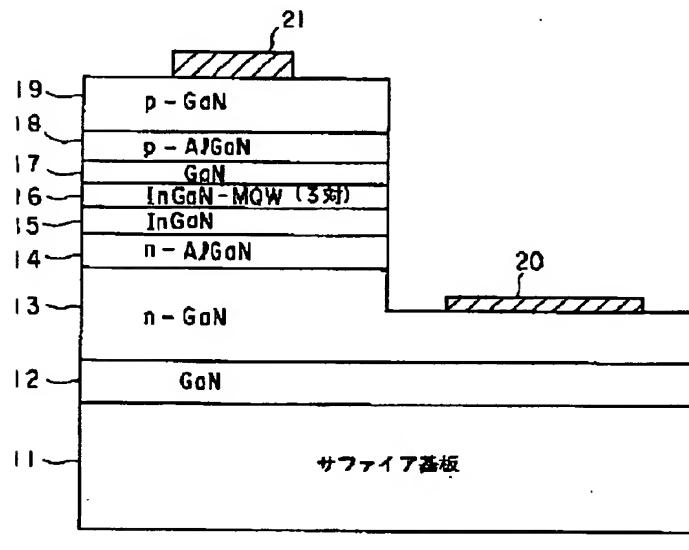
18 … p型AlGaNクラッド層

19 … p型GaNコンタクト層

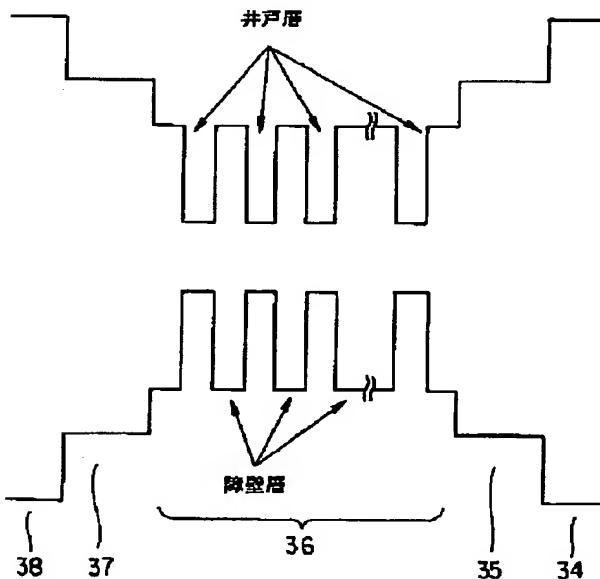
20 … n側電極

21 … p側電極

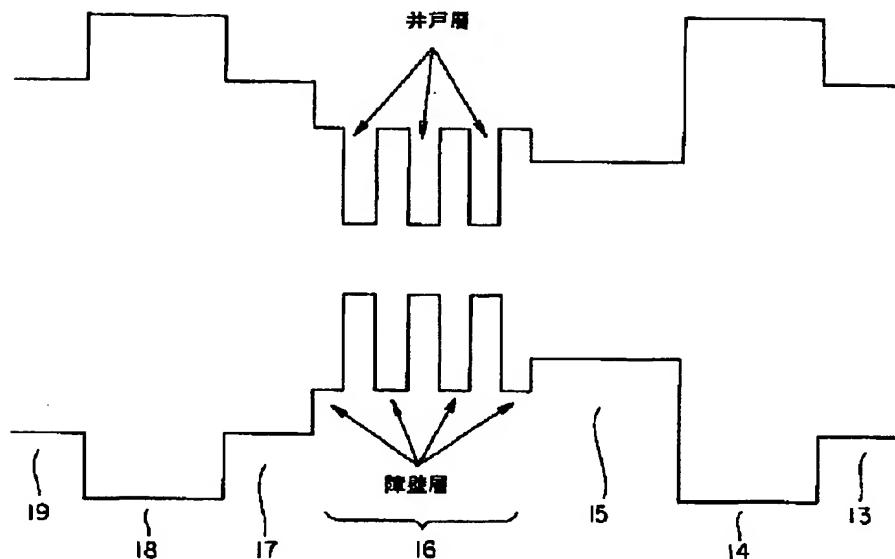
【図1】



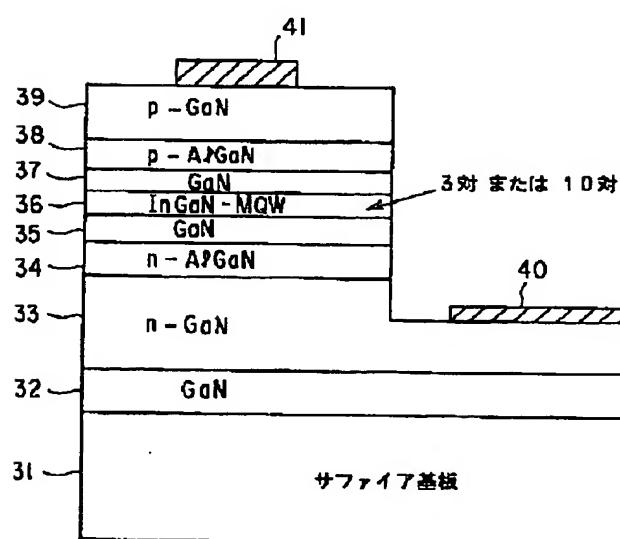
【図4】



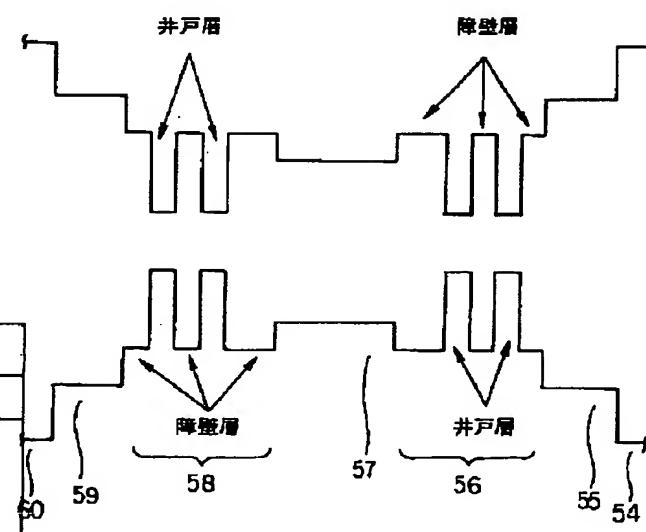
【図 2】



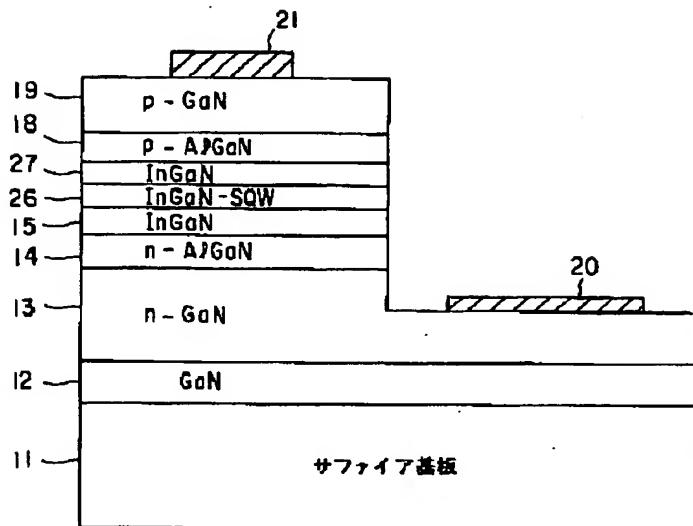
【図 3】



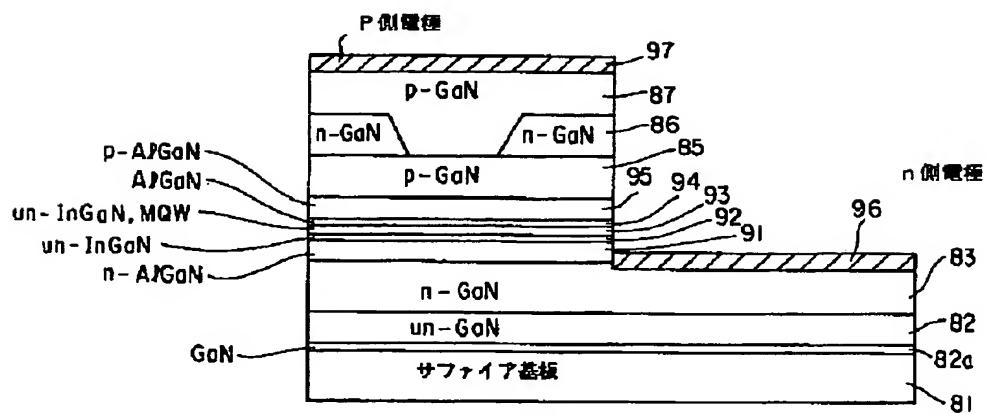
【図 8】



【図 5】



【図 6】



【図 7】

